

Ю. С. ГРИЩУК, В. М. ЛЕЩЕНКО, М. Г. ПАНТЕЛЯТ, А. К. ЄЛОЄВ, С. В. СИНЯГОВСЬКИЙ

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИМИ УСТАНОВКАМИ ПОТУЖНІСТЮ 1200 кВт

Розглянуті питання модернізації системи керування дизель-генераторними установками, які мають високу потужність при невисокій вартості палива, високу безпечність, надійність та призначені для використання в якості основного, або резервного джерела живлення. Відзначена актуальність завдання, вирішення якого на сучасному рівні потребує проектування модернізації з достатньо широким, системним використанням сучасної мікропроцесорної техніки. Проведено огляд і аналіз дизель-генераторних установок та їх технічних характеристик, пристроїв вимірювання, контролю і керування та технічних вимог до них. Наведені переваги систем мікропроцесорного керування та особливості їх застосування. Встановлена можливість заміни аналогової системи вимірювання, контролю і керування, що виконана на релейних схемах автоматики, або логічних елементах з аналоговими вимірювальними приладами, на автоматизовану систему на базі 32-х розрядного мікроконтролера. Визначені функції, які передбачається виконувати в автоматизованому режимі: підготовка до автоматичного виконання запуску дизеля за допомогою спеціальної програми періодичний підігрів для підтримання його в гарячому стані готовності до запуску, аварійна зупинка двигуна при зниженні тиску масла в системі змащення до мінімально-допустимої величини та при перевищенні температури охолоджувальної рідини за максимально-допустимий рівень, контроль та регулювання частоти обертання колінчастого валу двигуна та захист при її перевищенні за максимально-допустиму величину та інші. Визначені фізичні, електричні та інші параметри, що відображають робочий стан дизель-генератора, які необхідно контролювати і регулювати залежно від їх поточних значень. Розроблена структурна схема автоматизованої системи контролю параметрів і керування дизель-генераторними установками потужністю 1200 кВт на базі ARM-мікроконтролера, проведено вибір аналогових та цифрових датчиків та інших елементів схеми, побудовано алгоритм її роботи.

Ключові слова: дизель-генераторна установка, автоматизована система контролю параметрів і керування, мікроконтролер.

Ю. С. ГРИЩУК, В. М. ЛЕЩЕНКО, М. Г. ПАНТЕЛЯТ, А. К. ЕЛОЕВ, С. В. СИНЯГОВСКИЙ

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ МОЩНОСТЬЮ 1200 кВт

Рассмотрены вопросы модернизации системы управления дизель-генераторными установками, которые имеют высокую мощность при невысокой стоимости топлива, высокую безопасность, надежность и предназначены для использования в качестве основного или резервного источника питания. Отмечена актуальность задачи, решение которой на современном уровне требует проектирования модернизации с достаточно широким, системным использованием современной микропроцессорной техники. Проведен обзор и анализ дизель-генераторных установок и их технических характеристик, устройства измерения, контроля и управления и технических требований к ним. Приведены преимущества систем микропроцессорного управления и особенности их применения. Обоснована возможность замены аналоговой системы измерения, контроля и управления, выполненной на релейных схемах автоматики, или логических элементах с аналоговыми измерительными приборами, на автоматизированную систему на базе 32-х разрядного микроконтроллера. Определены функции, которые предполагается выполнять в автоматизированном режиме: подготовка к автоматическому выполнению запуска дизеля с помощью специальной программы периодический подогрев для поддержания его в горячем состоянии готовности к запуску, аварийная остановка двигателя при снижении давления масла в системе смазки до минимально допустимой величины и при превышении температуры охлаждающей жидкости с максимально-допустимый уровень, контроль и регулирование частоты вращения коленчатого вала двигателя и защиту при ее превышении по максимально-допустимую величину и другие. Определены физические, электрические и другие параметры, отражающие рабочее состояние дизель-генератора, которые необходимо контролировать и регулировать в зависимости от их текущих значений. Разработана структурная схема автоматизированной системы контроля параметров и управления дизель-генераторными установками мощностью 1200 кВт на базе ARM-микроконтроллера, проведен выбор аналоговых и цифровых датчиков и других элементов схемы, построен алгоритм ее работы.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, автоматизированная система контроля параметров и управления, микроконтроллер.

Yu. S. HRYSHCHUK, V.M. LESHCHENKO, M.G. PANTELYAT, A.K. YELOIEV, S. V. SINYAGOVSKIY

MODERNIZATION OF THE CONTROL SYSTEM OF DIESEL-GENERATOR SETS WITH A CAPACITY OF 1200 kW

The issues of modernization of the control system of diesel generator sets with high power at low cost of fuel, high safety, reliability and intended for use as the main or backup power source are considered. The urgency of the problem, the solution of which at the current level requires the design of modernization with a sufficiently wide, systematic use of modern microprocessor technology, is noted. The inspection and analysis of diesel generator sets and their technical characteristics, measuring, control and control devices and their technical requirements are carried out. The advantages of microprocessor control systems and features of their application are given. The possibility of replacing the analog measurement, control and control system made on relay circuits of automation, or logic elements with analog measuring devices, with an automated system based on a 32-bit microcontroller is substantiated. Defined functions to be performed in automated mode: preparation for automatic starting of the diesel engine by means of a special program periodic heating to maintain it in a hot state of readiness for start-up, emergency stop of the engine at lowering the oil pressure in the lubrication system to the minimum permissible value and at a permissible value temperature of the coolant at the maximum permissible level, control and regulation of the crankshaft rotation speed of the engine and protection when it exceeds for the maximum value and others. Physical, electrical and other parameters are defined, reflecting the working state of the diesel generator, which must be monitored and adjusted depending on their current values. The structural scheme of the automated system of parameter control and control of the diesel generator sets with capacity of 1200 kW on the basis of the ARM-microcontroller is developed, the choice of analog and digital sensors and other elements of the scheme is made, the algorithm of its work is constructed.

Keywords: diesel generator set, automated parameter control and control system, microcontroller.

Вступ. Дизель-генераторні установки (ДГУ) призначені для використання в якості основного, резервного або аварійного джерела живлення. Вони можуть бути виконані як в стаціонарному вигляді так і в суд-

© Ю. С. Грищук, В. М. Лещенко, М. Г. Пантелят, А. К. Єлосєв, С. В. Синяговський, 2019

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика, № 2 '2019

новому. Дизель-генератори можуть працювати як автономно, так і в паралелі з установками з такими самими характеристиками. Одна або декілька дизель-генераторних установок в купі з розподільчими пристроями та комплексом необхідного обладнання складає електричну дизельну станцію. В якості палива в дизель-генераторах може використовуватись: дизельне, моторне, та біопаливо вилучене з масел рослинного походження. Основні їх переваги: висока потужність, простота використання та невисока вартість палива, висока безпечність і надійність [1-4].

Важливу роль в роботі ДГУ виконує блок управління дизель-генератором (БУДГ), що забезпечує контроль і керування роботою і короткочасна перерва в роботі якого може привести до аварії. Блоки управління дизель-генератора, які забезпечують релейний захист обладнання на основі комутаційних реле, більшою частиною вже морально і фізично застаріли та не відповідають сучасним вимогам для забезпечення безперебійного та якісного постачання електроенергії. З часом ці вимоги все більше поширюються та зростають, стимулюючи

модернізацію існуючих та розробку нових автоматизованих систем контролю і управління ДГУ на сучасній елементній базі [5, 6]. Модернізація системи управління дизель-генераторними установками потребує достатньо широкого системного застосування сучасної обчислювальної і мікроконтролерної техніки [7], схем реалізації автоматичного включення резервного живлення та ін., що відповідає сучасним вимогам автоматизації, модульності та комунікації.

Метою даної роботи є модернізації системи керування дизель-генераторними установками, розробка структурної схеми автоматизованої системи контролю параметрів і керування дизель-генераторними установками потужністю 1200 кВт та алгоритму її роботи.

Огляд і аналіз дизель-генераторної установки. На рис.1 показано зовнішній вигляд дизель-генератора VASA 20 виробника Wartsila. Дизель-генераторна установка являє собою джерело живлення в якій відбувається перетворення теплової та механічної енергії дизельного двигуна в електричну, за допомогою електрогенератора [1, 2].

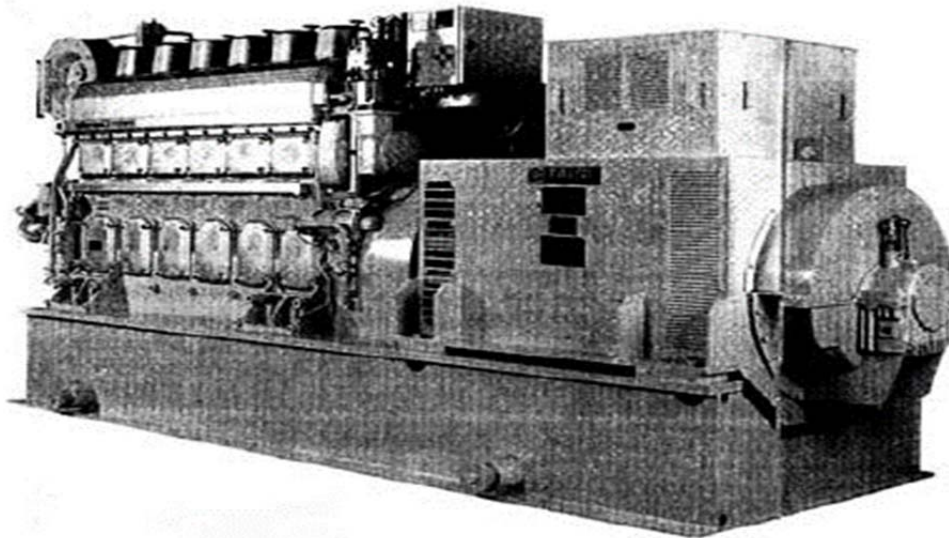


Рис. 1 – Дизель-генератор VASA 20 виробника Wartsila

Дизель-генератор складається з двох основних частин, а саме, дизельного двигуна внутрішнього згоряння та генератора електричної енергії, які з'єднанні між собою за допомогою загального валу.

В дизель-генераторній установці можна виділити наступні частини:

- дизельний двигун з системою охолодження, змащення, паливною системою та системою забору повітря;
- генератор змінного струму, який може бути як синхронний так і асинхронний;
- блок управління роботою дизель-генератора;
- рама за допомогою якої дизель-генератор кріпиться на місці встановлення, а також, яка дозволяє закріпити на дизель-генераторі необхідне обладнання, та протистояти різним зовнішнім впливам середовища;
- незалежні акумуляторні батареї напругою 24В для живлення ланцюгів пуску, керування, захисту, сигналізації (або живлення від мережі 220В) ;

– повітряні балони зі стислим повітрям [1-4].

В ДГУ для перетворення механічної енергії в електричну використовуються синхронні або асинхронні генератори змінного струму.

Синхронний генератор має більше складну конструкцію ніж асинхронний, менш точний ніж асинхронний, але як перевагу над асинхронним має можливість справлятися з великим навантаженням (близько 70% від номінальної) краще ніж його конкурент асинхронний.

Дизель-генератори конструктивно поділяють наступним чином [1-4]:

– *дизель-генератор рамний* – дизель-генератор який складається з конструктивно незалежних один від одного дизеля та генератора, які мають спільну фундаментну раму та з'єднанні між собою за допомогою муфти;

дизель-генератор фланцевий – дизель-генератор котрий має статор генератора закріплений до остова дизеля;

– *дизель-генератор маховиковий* – дизель-генератор котрий має ротор генератора жорстко закріплений до колінчатого валу дизеля та є його маховиком;

В залежності від призначення та частоти використання дизельні генератори розділяються на основні, резервні та аварійні [1–4]:

Основні дизель-генератори являються агрегатами постійного використання для забезпечення енергоживлення всіх необхідних пристроїв, агрегатів для функціонування судна, забезпечення необхідних умов під час перебування екіпажу на судні.

Резервні дизель-генератори по суті являються й основними тільки знаходяться в режимі очікування. Модернізовані резервні агрегати можуть запускатися також як автоматично так і в ручному режимі при перевантаженні основних агрегатів, або для оптимізації роботи при максимальних навантаженнях, в якості пікових агрегатів (для зняття піків навантаження).

Аварійні дизель-генератори використовуються при виході з ладу, або зупинці в результаті виникнення аварійного режиму, основних та резервних агрегатів.

Аварійні агрегати забезпечені пристроями для пришвидшеного запуску генератора в роботу. Автоматизація таких агрегатів повинна забезпечити підтримку агрегату в постійній готовності до запуску, так би мовити в режимі "гарячої готовності".

Технічні умови. Дизель-генератори повинні забезпечувати такі характеристики потужності [1–4]:

– *тривала (номінальна потужність)* – потужність, котру може розвивати дизель-генератор без обмеження по часу з перервами на технічне обслуговування, вказаними виробником при заданих значеннях частоти обертання, напруги, сили та частоти струму, повної комплектності та необхідних навколишніх та робочих умов, при умові дотримання правил технічного обслуговування, встановлених виробником;

– *номінальна потужність генераторів* застосовуваних у складі дизель-генераторів повинна відповідати умовам ГОСТ 12139.

Значення потужності та частоти обертання дизель-генераторів встановлюють в технічному завданні та технічних умовах на дизель-генератор конкретного типу;

– *основна, або (повна) потужність* – потужність, котру може розвивати дизель-генератор без обмеження за часом з перервами на технічне обслуговування, вказаними виробником, при заданих значеннях частоти обертання, напруги, сили та частоти струму, повної комплектності та відповідних навколишніх та робочих умов, при умові дотримання правил технічного обслуговування, встановлених виробником, з урахуванням недопустимості її перевищення;

– *потужність з обмеженням часу роботи* при максимальній потужності – короткочасна потужність, яку може розвивати дизель-генератор з перервами на протязі обмеженого часу, встановленого підприємством виробником, перевищуюча номінальну потужність при тих же умовах роботи та комплектності, за яких визначають номінальну потужність;

– *допустима середня потужність* – потужність дизель-генератора, котра не повинна перевищувати певного значення в процентному співвідношенні до

повної потужності на протязі періоду повної доби, визначеного виробником;

– *мінімальна потужність* – найменша тривала потужність дизель-генератора без обмеження за часом роботи;

Дизель-генератори повинні забезпечувати встановлені ГОСТ РИСО 8528-5 відповідні відхилення напруги, частоти від номінального їх значення та часу їх відновлення, відхилення напруги в перехідному процесі, перехідне відхилення частоти від початкового значення при взятті навантаження, або при скиданні навантаження, відносний діапазон зниження, або підвищення регульованої частоти, амплітуду налагодження частоти [1–4].

Перед введенням в експлуатацію дизель-генератора, він повинен бути обладнаний системою блокування для забезпечення безпечної експлуатації у всіх режимах, серед яких можна виділити:

- холостий хід;
- розхолодження після роботи під навантаженням;
- автоматична прокрутка з повітрям;
- режим очікування.

Запуск дизель-генераторної установки повинен виконуватись в автоматичному режимі через сигнал від керуючої системи. В залежності від надійності керуючої системи дизель-генераторної установки, вибирається кількість керуючих каналів. В системі автоматичного керування дизель-генераторної установки, необхідне дотримання домінування налаштування команд на запуск дизеля та його аварійну зупинку над іншими командами, серед яких нормальна зупинка дизеля, регламентована прокрутка колінчатого валу, ручна зупинка та інше.

Аварійна зупинка дизель-генератора з відключенням навантаження та звуковим оповіщенням зі світовою сигналізацією повинна виконуватись при наступних ситуаціях:

- зниження тиску масла до значного рівня;
- завищення рівня частоти обертання колінчатого валу дизель-генератора за максимально допустимий рівень;
- однофазне замикання на корпус;
- багатофазне замикання в обмотці статора;
- зовнішні короткі замикання між фазами.

Дані технічні та електричні системи захисту є необхідною умовою та повинні бути задіяні на постійній основі, при режимі очікування дизель-генератора. Блочний пульт керування, локальний щит керування та резервний пульт керування повинні виконувати умову автоматичного запуску та зупинки дистанційно [4, 8, 9].

Модернізація дизель-генераторної установки. Дизель-генераторна установка має бути укомплектована пристроями та механізмами, які беруть на себе виконання всіх необхідних операцій для правильного функціонування дизеля, а саме, в автоматичному режимі проводити запуск дизельного двигуна, моніторинг за його роботою, обслуговування та управління основними процесами, захист при аварійних режимах і зупинка. Модернізація таких установок із застосуванням мікропроцесорної техніки дозволяє виконувати режим роботи з достатньою точністю та без втру-

чання людини і сприяє покращенню техніко-економічних показників експлуатації дизель-генераторів. Вона дає можливість відмовитись від нагромадження великої кількості приладів моніторингу, оповіщення, контролю і вся необхідна інформація про роботу дизель-генераторної установок, може бути виведена на екран монітора, що безумовно є економічно доцільніше, ніж незліченна кількість аналогових приладів.

В систему комплексної модернізації в якості окремих частин має входити:

- періодичний підігрів дизеля для підтримання його в "гарячому стані готовності" до запуску.
- можливість автоматичного та дистанційного запуску дизельної-установки та автоматичне введення його під навантаження;
- автоматичне регулювання швидкості обертання колінчастого валу дизеля та напруги генератора;
- автоматичне регулювання температури води, масла, тиску масла в дизелі;
- автоматизація контролю і сигналізації щодо стану вузлів, які забезпечують контроль параметрів (температура, тиск масла, кількість обертів, струм, напруга та ін.) дизель-генератора;
- моніторинг рівня палива та масла в баках, напруги акумуляторних батарей, тиску в повітряних балонах;
- автоматичний захист при необхідності здійснення аварійної зупинки дизеля, якщо параметри контролю температура, тиск масла, кількість обертів, струм, напруга, та інші, вийдуть за гранично допустимі значення;
- автоматична та дистанційна зупинка дизеля;
- автоматичне виконання операцій по обслуговуванню дизель-генератора.

Огляді аналіз конструкцій ДГУ і технічних умов показує, що проведення модернізації доцільно здійснити шляхом розробки автоматизованої системи керування дизель-генераторними установками на базі сучасного 32-х розрядного мікроконтролера.

Структурна схема. Для розробки автоматизованої системи керування дизель-генераторними установками (АСКДГУ) пропонується структурна схема автоматизованої системи керування дизель-генератором, яка виконана на базі мікроконтролера.

В структурну схему автоматизованого управління дизель-генератора (рис.2) входять:

БУДГ – блок управління дизель-генератора; ДА1..ДАm – датчики аналогові;

ДД1..ДДm – датчики дискретні; СУ – схеми узгодження; К1..К3 – компаратори;

Р1..Р3 – потенціометри; 1 – схеми об'єднання; П – підсилювачі; ВО1..ВОm – виконавчі органи; ІНТ – інтерфейс зв'язку з системою вищого рівня, ARM-мікроконтролер

Для контролю параметрів ДГУ пропонується наступні датчики контрольованих параметрів (первинних перетворювачів струму, напруги, температури, тиску та ін. в напругу): 3 аналогових датчики струму – (ДА1–ДА3); 3 датчики напруги генератора – (ДА4–ДА6); датчик напруги акумулятора – ДА7; датчик температури охолоджувальної рідини дизеля – ДА8; датчик тиску масла в системі змащення дизеля – ДА9;

датчик температури масла – ДА10; датчик рівня масла в масляному баку – ДА11; датчик рівня палива в паливному баку – ДА12; датчик тиску в повітряних балонах ДГУ – ДА13; дискретний датчик частоти струму – ДД1; дискретний датчик мінімального рівня масла – ДД2; дискретний датчик мінімального рівня палива – ДД3; дискретний (імпульсний) датчик частоти обертання колінчастого валу (маховика) – ДД4.

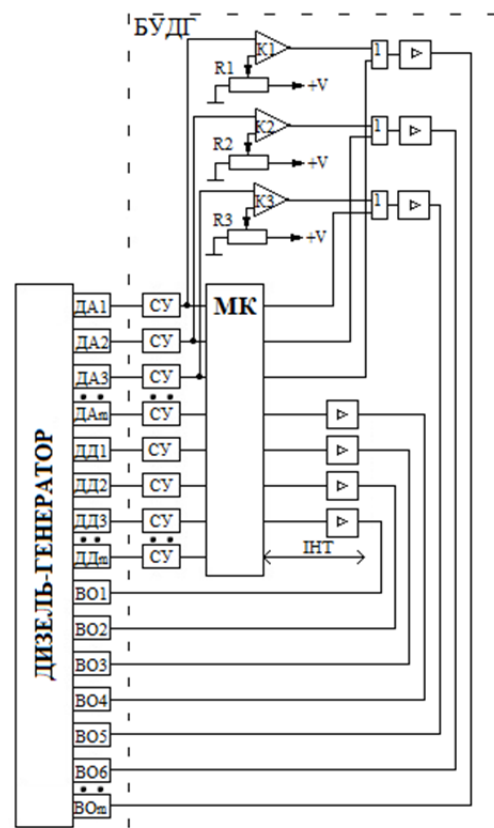


Рис. 2 – Структурна схема автоматизованої системи керування дизель-генератором

Вибір мікроконтролера. Мікроконтролер для описаної вище системи вибирається виходячи з умов завдання та характеру контрольованих параметрів, процесів і умов в яких він буде працювати, а саме [5, 6]:

- швидкості протікання процесів;
- кількості контрольованих параметрів і частоти опитування датчиків;
- завдань з переробки інформації і керування;
- умов експлуатації і вимог щодо надійності

Згідно умов завдання модернізації ДГУ система керування повинна забезпечити виконання в автоматизованому режимі наступні функції: підготовку до автоматичного виконання запуску дизеля за допомогою спеціальної програми періодичний підігрів для підтримання його в гарячому стані готовності до запуску, аварійну зупинку двигуна при зниженні тиску масла в системі змащення до мінімально-допустимої величини та при перевищенні температури охолоджувальної рідини за максимально-допустимий рівень, контроль та регулювання частоти обертання колінчастого валу двигуна та захист при її перевищенні за максимально-допустиму величину, захист при виник-

ненні однофазного та багатofазного замикання на корпус, захист при зовнішніх коротких замиканнях. Всього мікроконтролер має постійно здійснювати поточний контроль 17-ти фізичних, теплових, електричних та інших параметрів, що відображають робочий стан дизель-генератора, які необхідно обробляти і регулювати або забезпечувати аварійну зупинку дизеля та захист генератора залежно від їх поточних значень.

Виходячи з умов завдання в якості мікроконтролера автоматизованої системи БУДГ доцільно вибрати ARM-мікроконтролер [7, 10]. Ці мікроконтролери широко представлені на ринку та добре забезпечені програмним продуктом і засобами програмування та налагодження. Система на базі цього мікроконтролера здатна опитувати датчики з частотою 100 мкс, тобто, за час спрацювання $t_b \leq 10$ мкс система встигне опитати датчики 100 разів, чого цілком достатньо для зняття поточних значень параметрів з необхідною точністю та забезпечення автоматизованого керування роботою дизель-генераторних установок та їх захисту.

Структурна схема управління дизель-генератором. Схема управління дизель-генератора (ДГ) отримує сигнали управління від системи вищого рівня через інтерфейс ІНТ, а також передає інформацію про стан ДГ в систему вищого рівня, в тому числі на пульт оператора.

Завданням блока управління дизель-генератора (БУДГ) є підтримання вихідних параметрів ДГ, таких як струм, напруга, частота та ряд допоміжних параметрів ДГ: тиск масла в системі змащення, температура охолоджуваної рідини, частота обертання колінчастого валу дизеля, та ін.

Інформація про стан ДГ поступає в БУДГ з аналогових та дискретних датчиків ДА та ДД. На основі одержаної інформації мікроконтролер (МК) виробляє керуючі сигнали, які через відповідні підсилювачі поступають на виконуючі органи (ВО) ДГ. Основною частиною програми БУДГ є цифрові регулятори, алгоритми діагностики та захисту.

Для підвищення надійності функціонування системи в БУДГ окрім основного контуру управління на МК також використовується паралельний контур реакції на вихід за граничні межі найбільш важливих параметрів (температури охолоджувальної рідини, тиску масла, частоти обертання та ін.). Схема паралельного захисного контуру реалізована на невеликій кількості елементів, таких як компаратори К1–К3, схеми об'єднання з сигналом від МК та підсилювачі, що спрацьовують при виході з ладу (зациклюванні) МК.

Програма МК керує роботою ДГ у всіх режимах: передпусковому та пусковому, основному робочому, діагностики та штатному або аварійному режимі зупинки роботи ДГ. В якості основного елементу системи БУДГ доцільно вибрати ARM-мікроконтролер. Ці мікроконтролери широко представлені на ринку та добре забезпечені програмним продуктом і засобами програмування та наладки. До об'єкту дослідження (рис.1) підключені 16 (при потребі можна і більше) аналогових і дискретних датчиків контрольованих параметрів. Нормуючі підсилювачі погоджують вихідну напругу датчиків з необхідним вхідним сигналом

АЦП 0–10 В і забезпечують низький вихідний опір. Комутатор аналогових сигналів перемикає один з входів на вихід залежно від керуючого коду, що надійшов від мікроконтролера. АЦП є швидкодіючим дванадцяти-розрядним перетворювачем вхідної напруги в паралельний двійковий код. Запуск перетворювача проводиться мікроконтролером, закінчення перетворення викликає сигнал готовності, який є командою для зчитування даних. Мікроконтролер, відповідно до записаної в пам'ять програми, керує процесом контролю, управління шляхом опитування із заданою періодичністю датчиків Д1–Д16, згідно з алгоритмом керування. Вихідні сигнали датчиків унаслідок їх різної фізичної природи можуть потребувати посилення і проміжного перетворення на АЦП або на схемах формувачів сигналів (ФС), які найчастіше виконують функції гальванічної розв'язки і формування рівнів двійкових сигналів стандарту ТТЛ.

Мікроконтролер з необхідною періодичністю оновлює керуючі слова на своїх вихідних портах. Деяка частина керуючого слова може інтерпретуватися як сукупність прямих двійкових сигналів керування (СК), що через схеми формувачів сигналів (підсилювачі потужності, реле, оптрони та ін.) або пристрої зв'язку з об'єктом надходять на виконавчі механізми.

Блок-схема алгоритму роботи блоку управління ДГ зображена на рис. 3.

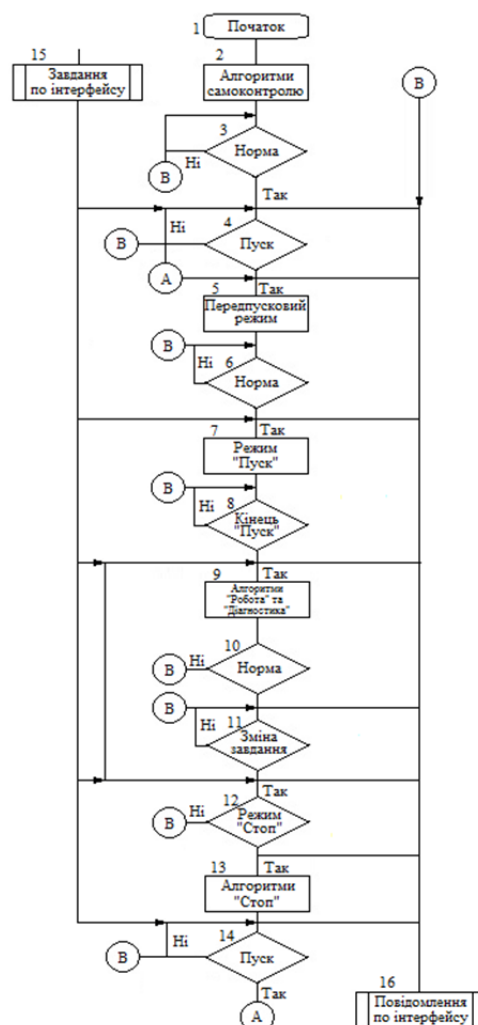


Рис. 3 – Блок-схема алгоритму роботи БУДГ

Опис алгоритму роботи БУДГ. Робота алгоритму починається після подачі напруги живлення від резервного джерела (акумулятора) виконанням алгоритмів самоконтролю (блок 2). Після одержання результату "Норма" (блок 3) видається повідомлення в систему вищого рівня по інтерфейсу (блок 16) та виконується перехід в режим очікування завдання режиму "Пуск" від системи вищого рівня по тому самому інтерфейсу (блок 4).

Після отримання завдання "Пуск" алгоритм переходить на виконання передпускового режиму (блок 5) та підтверджує це по інтерфейсу.

По закінченню передпускового режиму та одержання результату "Норма" (блок 6) по команді від системи вищого рівня виконується режим "Пуск" (блок 7). Закінчення режиму "Пуск" (блок 8) визначається по виходу обертів дизеля на заданий рівень, після чого видається повідомлення в систему та виконуються алгоритми "Робота" та "Діагностика" (блок 9). Алгоритм "Робота" видає команду на подачу збудження генератора та контролює параметри як дизеля, так і генератора, результати контролю передаються в систему періодично або по запиті системи.

Під час виконання режимів "Робота" та "Діагностика" можливі зміни завдання від системи по інтерфейсу (блок 11). В такому разі ці повідомлення фіксуються алгоритмами в блоці 9 і робота продовжується до отримання завдання "Стоп" (блок 12). Режим "Стоп" виконується алгоритмом "Стоп" (блок 13), після чого виконується блок 14 очікування завдання "Пуск", якщо не вимкнута живлення БУДГ. В разі закінчення роботи ДГ знімається живлення з БУДГ і робота алгоритму закінчується.

В процесі роботи алгоритму весь час виконується прийом сигналів від датчиків, як аналогових через аналого-цифровий перетворювач МК, так і дискретних, а також обмін по інтерфейсу від системи вищого рівня.

На основі інформації, отриманої від датчиків та по інтерфейсу, формуються команди на ВО для забезпечення заданого режиму роботи ДГ.

Висновки. Розроблена структурна схема та алгоритм роботи автоматизованої системи керування дозволяють автоматизувати процес контролю та керу-

вання роботою дизель - генераторних установок, забезпечити їх захист при аварійних режимах, суттєво скоротити терміни і витрати на їх обслуговування, підвищити надійність роботи та їх економічну ефективність.

Список літератури

- 1 Пахомов Ю. А. Суднові енергетичні установки з ДВС. Підручник. – М.: Транслит, 2007. – 528 с.
- 2 Емельянов П.С. Суднові енергетичні установки. Тексти лекцій. – СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2006. – 171 с.
- 3 Артемов Г. А., Горбов В. М. Суднові енергетичні установки: Навчальний посібник – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с
- 4 Донатка Р. Перепичко А. Книга о суднах. – Пер.с нем. – Л., Судноплавство, 1981. – 208 с.
- 5 Сташин В. В., Урусов А. В., Мологонцева О. Ф. Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтроллерах. – М.: «Энергоатомиздат», 1990 – 224 с.
- 6 Гришук Ю. С. Микропроцесорні пристрої: Навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – 348с.
- 7 Самый производительный микроконтроллер на ядре Cortex-M4// http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2012_5_96.pdf
- 8 <https://pue8.ru/silovaya-elektronika/198-sistemy-vozbuzhdeniya-sinhronnyh-generatorov.html>;
- 9 <http://mirmarine.net/svm/539-sudovye-vspomogatelnye-dizel-generatory>;
- 10 <https://www.compel.ru/lib/53816>

References (transliterated)

- 1 Pahomov Ju. A. Sudnovi energetychni ustanovky z DVS. Pidruchnyk. – M.: TransLyt, 2007. – 528 p.
- 2 Emel'janov P.S. Sudnovi energetychni ustanovky. Teksty lekcij. – SPB.: GMA ym.adm. S. O. Makarova, 2006. – 171 p.
- 3 Artemiv G. A., Gorbov V. M. Sudnovi energetychni ustanovky: Navchal'nyj posibnyk – Mykolaiv: UDMTU, 2002. – 356 c
- 4 Donatka R. Perepichko A. Kniga o sudnah. – Per.s nem. – L., Sudnoplavstvo, 1981. – 208 c.
- 5 Stashin V. V., Urusov A. V., Mologonцева O. F. Proektirovanie cifrovyyh ustroystv na odnokristal'nyh mikrokontrollerah. – M.: «Jenergoatomizdat», 1990 – 224 c.
- 6 Gryshhuk Ju. S. Mikroprocesorni prystroi: Navchal'nyj posibnyk. – Harkiv: NTU «KhPI», 2008. – 348c.
- 7 Samyj proizvoditel'nyj mikrokontroller na jadre Cortex-M4// http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2012_5_96.pdf
- 8 <https://pue8.ru/silovaya-elektronika/198-sistemy-vozbuzhdeniya-sinhronnyh-generatorov.html>;
- 9 <http://mirmarine.net/svm/539-sudovye-vspomogatelnye-dizel-generatory>;
- 10 <https://www.compel.ru/lib/53816>

Надійшла (received) 23.10.19

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гришук Юрій Степанович (Гришук Юрий Степанович, Hryshchuk Yuriy Stepanovych) – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7427-5419>; e-mail: grischukpi@ukr.net.

Лещенко Вячеслав Михайлович (Лещенко Вячеслав Михайлович, Leshchenko Viacheslav Mikhailovich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри автоматики і управління в технічних системах; м. Харків, e-mail: lvm@kpi.kharkov.ua

Пантелія Михайло Гарієвич (Пантелія Михаил Гарриевич, Panteliat Mikhail Garrievich) – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1357-2134>; e-mail: m150462@yahoo.com.

Єлоєв Алан Казбекович (Елоев Алан Казбекович, Yeloiev Alan Kazbekovich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант, кафедра електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: mauser98kar@gmail.com.

Синяговський Станіслав Васильович (Синяговский Станислав Васильевич, Sinyagovskiy Stanyslav Vasylievych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент, кафедра електричних апаратів; м. Харків, e-mail: stassyns@gmail.com